



RADIOAKTIVITÄT IN RHEINLAND-PFÄLZISCHEN GEWÄSSERN

in den Jahren 2006 bis 2008



LUWG-Bericht 7/2009



RADIOAKTIVITÄT IN RHEINLAND-PFÄLZISCHEN GEWÄSSERN

in den Jahren 2006 bis 2008

Bearbeitung

Dr. Jens Hartkopf

Mainz, Dezember 2009

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Str. 7 • 55116 Mainz

Titelbild: Schwebstoffprobenahme bei Contwig (Schwarzbach)

Herstellung: LUWG

Auflage: 65 Exemplare



© Dezember 2009

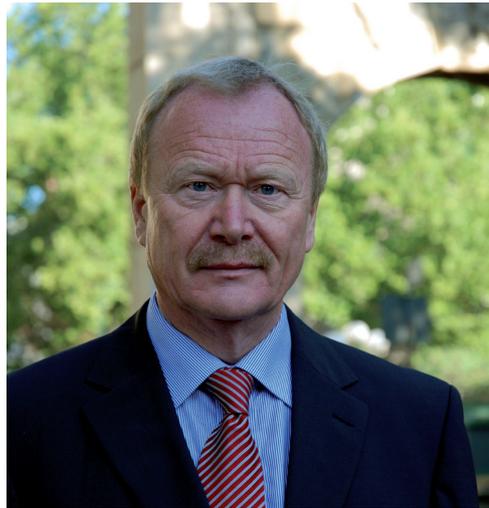
Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	9
2	Grundlagen und Begriffe	11
3	Messprogramme	12
4	Darstellung und Diskussion der Messergebnisse	13
4.1	Oberflächenwasser	13
4.2	Sediment und Filterschlamm	14
4.3	Schwebstoffe	17
4.4	Grundwasser und Rohwasser zur Trinkwassergewinnung	17
4.5	Abwasser aus Kläranlagen	18
4.6	Klärschlamm aus Kläranlagen	19
4.7	Sickerwasser aus Hausmülldeponien	21
4.8	Abwasser aus Verbrennungsanlagen	21
5	Berechnung und Bewertung der Strahlendosis	22
5.1	Strahlenexposition auf dem „Trinkwasserpfad“	23
5.2	Strahlenexposition auf dem „Spülfeldpfad“	24
6	Literaturverzeichnis	27

Anlagen

VORWORT



Auch nach über 20 Jahren lassen sich die Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl, des wohl schlimmsten und folgenschwersten Ereignis in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie, immer noch – wenn auch nur in geringen Spuren – in der rheinland-pfälzischen Umwelt nachweisen. Um die Entwicklung der radioaktiven Belastung in der Umwelt weiterhin ermitteln und die Umgebung der kerntechnischen Anlagen überwachen zu können, müssen die Analysenmethoden und die instrumentelle Messtechnik zur Bestimmung der Radionuklide mit der nötigen Analytischen Qualitätssicherung auch in Zukunft vorrätig gehalten werden.

Das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz erstellt seit 1988 Übersichten zur Radioaktivität in den von ihm überwachten rheinland-pfälzischen Gewässern. Im vorliegenden Bericht werden die Radioaktivitätswerte des aquatischen Bereichs aus den Jahren 2006 bis 2008 dargestellt und bewertet.

Als wichtigstes Ergebnis dieses Berichts ist hervor zu heben, dass die registrierten Radioaktivitätswerte in den überwachten aquatischen Bereichen hinsichtlich der Strahlenexposition der Bevölkerung im Sinne der Strahlenschutzverordnung wie schon in den letzten Jahren als nicht relevant einzustufen sind.

Mainz, im Dezember 2009

A handwritten signature in blue ink that reads "Stefan Hill". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Dr.-Ing. Stefan Hill

Präsident des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

1 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der radiologischen Gewässerüberwachung ist die Feststellung, ob und ggf. inwieweit die rheinland-pfälzischen Gewässer mit künstlichen radioaktiven Stoffen belastet sind und wie hoch die daraus resultierende Strahlenexposition (d.h. die Einwirkung der Radioaktivität auf den menschlichen Körper) für die Bevölkerung ist. Aufgrund des Reaktorunfalls 1986 in Tschernobyl wurde in der Bundesrepublik Deutschland das „Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung“ (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) erlassen und darauf basierend das „Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität“ (IMIS) geschaffen. Für dieses System liefert das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (vorher Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz) als Landesmessstelle Ergebnisse zur Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern, um die aktuelle Belastung der Gewässer und langfristige Veränderungen im Laufe der Jahre festzustellen und um für einen eventuellen Intensivmessbetrieb vorbereitet zu sein. Neben Oberflächenwässern, Sediment- und Schwebstoffproben werden auch Roh- und Grundwässer, die zur Trinkwassergewinnung dienen, untersucht. Außerdem werden Abwässer und Klärschlämme aus Kläranlagen, Abwässer aus Verbrennungsanlagen sowie Sickerwässer aus Deponien auf Radionuklide analysiert.

Weitere wichtige Untersuchungsprogramme sind durch die „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) geregelt. Danach überwacht das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz als unabhängige Messstelle die Einflüsse der Kernkraftwerke Mülheim-Kärlich, Biblis, Philippsburg und Cattenom auf die rheinland-pfälzischen Gewässer.

Wie schon in den letzten Jahren trugen auch 2006 bis 2008 die natürlichen Radionuklide wie Kalium-40 und die Glieder aus den Uran- und Thorium-Zerfallsreihen zum überwiegenden Anteil der Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern bei.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen wurde auf künstlich erzeugte Radionuklide gelegt. Diese waren im Oberflächenwasser vereinzelt in Form von Tritium, Cäsium-137, Iod-131 und Strontium-90 in geringen Aktivitätskonzentrationen nachweisbar. Das Tritium hatte seinen Ursprung zu einem großen Teil in den genehmigten Abgaben aus Kernkraftwerken, in deren Nahbereichen es auch festgestellt wurde. Die wesentlichen Cäsium-137-Aktivitäten stammten sicherlich immer noch aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl, während das Iod-131 wahrscheinlich durch nuklearmedizinische Anwendungen und der Ableitung entsprechender Abwässer verursacht wurde. Das Strontium-90 kann man als Relikt der oberirdischen Kernwaffenversuche ansehen, die ihren Höhepunkt Anfang der 1960er Jahre hatten.

Wichtig ist auch die Untersuchung von Sedimenten und Schwebstoffen, die durch das Speichern von radioaktiven Stoffen empfindliche Nachweismedien für geringe Mengen mit dem Wasser transportierter Aktivitäten sind. In allen Sediment- und Schwebstoffproben wurden wieder Aktivitäten von Cäsium-137, in einigen Proben auch Iod-131, Kobalt-60 und Strontium-90 registriert.

Die gemessenen Radionuklidgehalte bewirkten auf den aus wasserwirtschaftlicher Sicht relevanten Belastungspfaden, dem „Trinkwasserpfad“ und dem „Spülfeldpfad“, Strahlenexpositionen für die Bevölkerung, die weit unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung lagen. Aufgrund der vorliegenden Daten ist die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstlich erzeugte radioaktive

Stoffe im Oberflächenwasser, in Sedimenten und in Schwebstoffen vernachlässigbar klein gegenüber der natürlichen Strahlenexposition.

Die Untersuchungen an weiteren Matrices ergaben den Nachweis von Tritium und Iod-131 im Abwasser, von Iod-131, Cäsium-137 und Strontium-90 im Klärschlamm, von Tritium und Iod-131 im Abwasser aus Verbrennungsanlagen sowie von Tritium und Cäsium-137 im Sickerwasser aus Hausmülldeponien in unterschiedlichen Aktivitäten. Die Herkunft der Nuklide Iod-131, Cäsium-137 und Strontium-90 ist sicherlich die gleiche wie zuvor beschrieben. Die Tritiumgehalte, die durch Regenwasser aus den Depo-
nie-Ablagerungen in das Sickerwasser gelangten, könnten auf die Verwendung von Tritium in der Leuchtfarbenherstellung zurückzuführen sein.

In den Grund- und Rohwässern, die zur Trinkwassergewinnung eingesetzt werden, wurden keine künstlich erzeugten Nuklide oberhalb der Nachweisgrenzen der angewandten Analyseverfahren in den Jahren 2006 bis 2008 nachgewiesen. Aufgrund dieser Untersuchungsergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass eine Gefährdung der Bevölkerung durch die Ingestion von künstlich erzeugten Radionukliden beim Gebrauch dieser Grund- und Rohwässer als Trinkwasser nicht aufgetreten war.

2 GRUNDLAGEN UND BEGRIFFE

Eine kurze Übersicht über Grundlagen und Begriffe zur Radioaktivität können dem Bericht des damaligen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) „Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern in den Jahren 1986 bis 2000“ [1] entnommen werden, der ebenso wie die Berichte „Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern in den Jahren 2001 und 2002“ [2] und „Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern in den Jahren 2003 bis 2005“ [3] einen Vorgänger zum vorliegenden Bericht darstellt. Weitere allgemeine Informationen und Fakten zur Radioaktivitätsüberwachung im aquatischen Bereich mit spezieller Intension auf den Rhein und seine Nebenflüsse gibt der Übersichtsartikel "Natural and Artificial Radioactivity in the Rhine and Its Tributaries" [4].

3 MESSPROGRAMME

Aufgrund des Reaktorunfalls im ukrainischen Kernkraftwerk Tschernobyl wurden das Strahlenschutzvorsorgegesetz [5] und das „Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umwelt-radioaktivität“ (IMIS) [6] erlassen, um die Radioaktivität in allen Umweltmedien flächendeckend in der Bundesrepublik Deutschland zu erfassen und zu dokumentieren. Dadurch sollen auch bei einem eventuellen neuen Unfall bzw. Störfall schnellere und bessere Informationen erhalten und genauere Prognosen erstellt werden können. Als Landesmessstelle sind wir im Rahmen des IMIS für die Überwachung der Radioaktivität in den rheinland-pfälzischen Gewässern zuständig. Daneben überwachen wir die aquatische Umgebung von Kernkraftwerken gemäß der Strahlenschutzverordnung [7] bzw. der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ (REI) [8].

In Anlage A-1 ist das IMIS-Routinemessprogramm (Aquatischer Bereich) für das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht zum Strahlenschutzvorsorgegesetz dargestellt. Die Messprogramme der Umgebungsüberwachung der Kernkraftwerke nach der REI (Aquatischer Bereich) für das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht sind in den Anlagen A-2 (KKW Philippsburg), A-3 (KKW Biblis), A-4 (KKW Mülheim-Kärlich) und A-5 (KKW Cattenom) sowie ein Teil des Allgemeinen Überwachungsprogramms in der Anlage A-6 zusammengefasst. Die entsprechenden Messergebnisse aus den Jahren 2006 bis 2008 können der Anlage B entnommen werden.

4 DARSTELLUNG UND DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE

Da wie in den Jahren zuvor in der Regel keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben der Umgebungsüberwachung der Kernkraftwerke und denen der allgemeinen Umweltüberwachung nach Strahlenschutzvorsorgegesetz erkennbar sind, werden die Ergebnisse dieser Messungen im Folgenden gemeinsam dargestellt und diskutiert.

4.1 Oberflächenwasser

Tritium (überschwerer Wasserstoff, H-3) ist recht gut geeignet, Emissionen eines Kernkraftwerkes über den Wasserpfad zu detektieren, da dieses Radionuklid als homologes zum Wasserstoff relativ leicht in das Wassermolekül eingebaut und von den Kernkraftwerken in merklichen Mengen abgegeben wird.

Die Tritium-Aktivitätskonzentration der Moselsammelproben aus Palzem (Strom-km 230) gibt seit Jahren Hinweise auf einen Tritium-Emittenden oberhalb der Probenahmestelle, mit hoher Wahrscheinlichkeit das Kernkraftwerk Cattenom. Dies wird durch Abb. 1 veranschaulicht, die eine Fortschreibung der Werte von 1982 bis 2008 darstellt. Bei Nullmessungen zwischen 1982 und 1986 wurden Tritium-Aktivitäten um 6 Bq/l festgestellt. Nach 1986, der Inbetriebnahme des ersten Reaktorblocks von Cattenom, und weiter ab 1991, als die Reaktorblöcke 3 und 4 in Betrieb genommen wurden, stiegen die Tritium-Aktivitäten an und schwankten einige Jahre zwischen 18 und 30 Bq/l. Insbesondere in den letzten 5 Jahren fällt eine weitere Erhöhung der Tritium-Aktivitäten mit einem Durchschnittswert von über 30 Bq/l auf. Die dabei auftretende Schwankungsbreite der monatlich ermittelten Tritium-Aktivitäten von 9,6 bis 50 Bq/l deutet auf eine von Kernkraftwerk-Betreibern praktizierte, diskontinuierliche Abgabe von radioaktiven Substanzen hin. Diese Darstellung zeigt auch deutlich, von welchem großem Nutzen Nullmessungen als Vergleich sind, also Messungen vor Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes (Cattenom 1986) oder vor einem Unfall bzw. Störfall.

Die Tritium-Aktivitäten aller anderen Oberflächenwasserproben lagen unter 10 Bq/l, also im Bereich der natürlichen Gewässerbelastung.

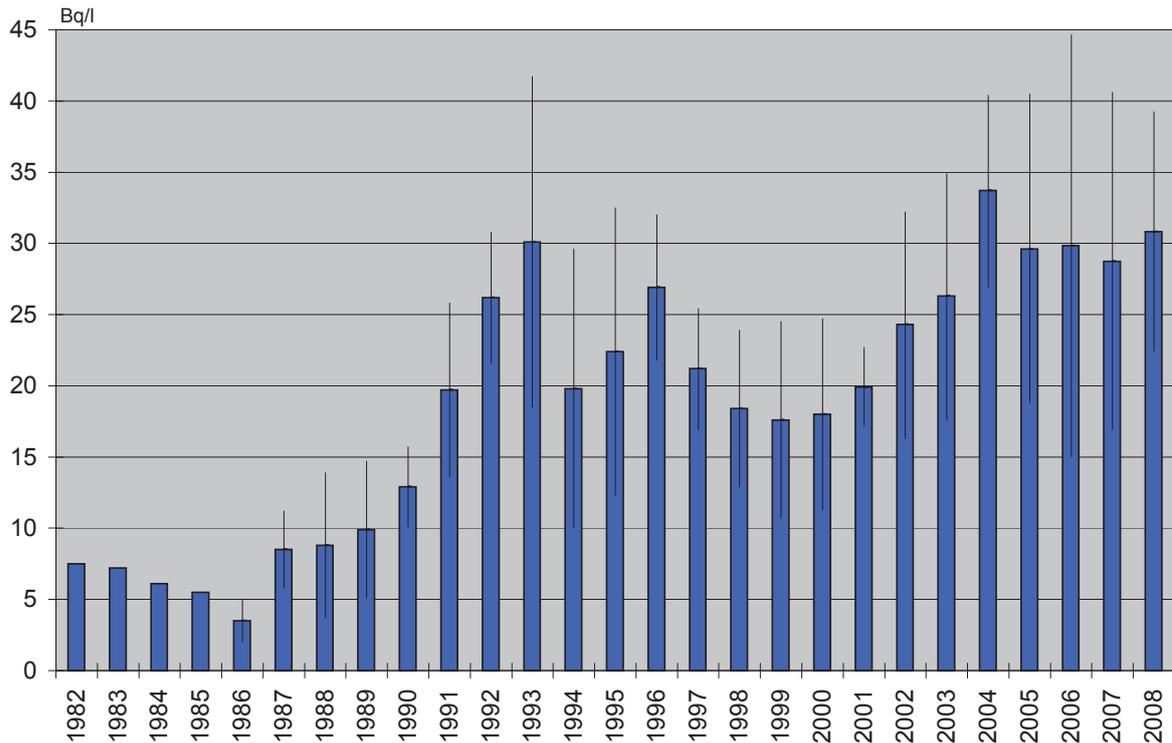


Abb. 1: Jahresmittelwerte 1982 bis 2008 der Tritium-Aktivitätskonzentrationen [Bq/l] der Oberflächenwasserproben aus Palzem (Mosel-km 230)

Im Wasser aus dem Laacher See konnte wie in den vorherigen Jahren Cäsium-137 nachgewiesen werden, was sicherlich noch auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführen ist. Es zeigt sich aber eine langsam abnehmende Tendenz, die Aktivitätskonzentrationen lagen in den Jahren 2006 bis 2008 mit 0,032 Bq/l etwas niedriger als in den früheren Jahren.

Die in Oberflächenwasserproben nachgewiesenen Strontium-90-Aktivitäten kann man als Relikt der oberirdischen Kernwaffenversuche ansehen, die ihren Höhepunkt Anfang der 1960er Jahre hatten. Auch wurden wieder zeitweise in einigen Oberflächenwasserproben geringe Iod-131-Aktivitätskonzentrationen bestimmt, deren Ursache vermutlich in nuklearmedizinischen Anwendungen und der Ableitung entsprechender Abwässer liegt.

Die Aktivitäten weiterer künstlicher Radionuklide, die in Oberflächenwässern bestimmt wurden, lagen in dem Schwankungsbereich der jeweiligen Nachweisgrenzen der Messverfahren bzw. der Nulleffektmessungen.

4.2 Sediment und Filterschlamm

Sedimente können radioaktive Stoffe speichern und stellen damit empfindliche Nachweismedien für geringe Mengen mit dem Wasser transportierter Aktivitäten. Stets nachweisbar ist das natürliche Radionuklid Kalium-40 mit einer Aktivität im dreistelligen Bq/kg Trockenmasse (TM) Bereich. Durch den Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 wurden zahlreiche künstlich erzeugte Radionuklide freigesetzt, von denen Cäsium-137 das Leitnuklid darstellt, das auch noch immer wegen seiner langen

Halbwertszeit von 30 Jahren in den aquatischen Umweltmedien eine Rolle spielt. In Abb. 2 werden die Cäsium-137-Aktivitäten verschiedener Sedimentproben aus den Jahren von 2006 bis 2008 vergleichend dargestellt.

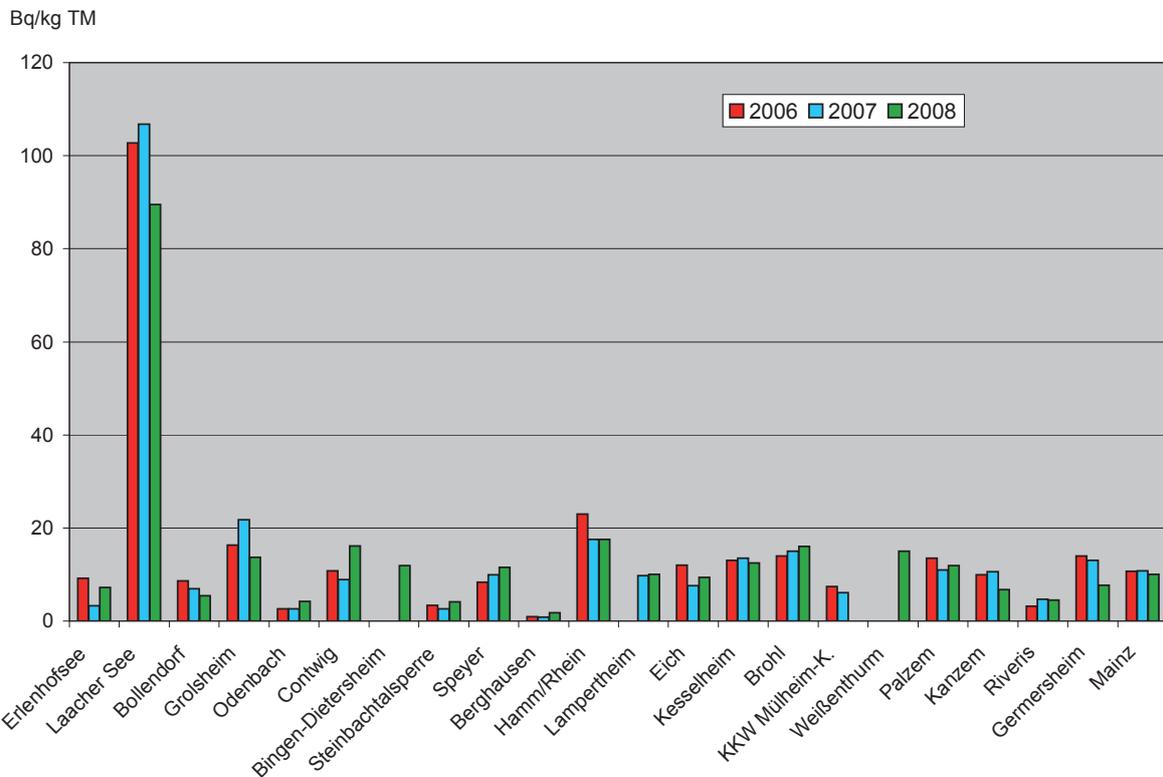


Abb. 2: Jahresmittelwerte 2006 bis 2008 der Cäsium-137-Aktivitäten [Bq/kg TM] verschiedener Sediment- bzw. Filterschlammproben

Die Schwankungsbreite der registrierten Cäsium-137-Werte hat ihre Ursache neben der ungleichmäßigen Ablagerung der Nuklide nach dem Tschernobyl-Reaktorunfall in der unterschiedlichen morphologischen Zusammensetzung der Proben, der verschiedenen Gegebenheiten der Probeentnahmestellen sowie den unterschiedlichen limnologischen Verhältnissen der beprobten Gewässer.

Weiterhin auffällig ist die Cäsium-137-Aktivität im Sediment des Laacher Sees, die immer noch um etwa eine Zehnerpotenz höher als die vergleichbaren Sedimentproben lag, was sich mit dem zuvor erwähnten Ergebnis des Oberflächenwassers deckt. Dies hängt wahrscheinlich mit einer erhöhten Deposition nach dem Tschernobyl-Reaktorunfall und einem geringen Wasseraustausch im Laacher See zusammen. Abb. 3 zeigt den Vergleich der Cäsium-137-Aktivitäten in Sedimentproben aus dem Laacher See und dem Rhein bei Mainz. Im Fließgewässer Rhein ist die Cäsium-137-Aktivität nach dem Reaktorunfall deutlich schneller zurückgegangen. Die allgemein festgestellte abnehmende Tendenz des Cäsium-137 als das Leitnuklid des Tschernobyl-Reaktorunfalls ist aber auch in den Sedimentproben aus dem Laacher See zu beobachten.

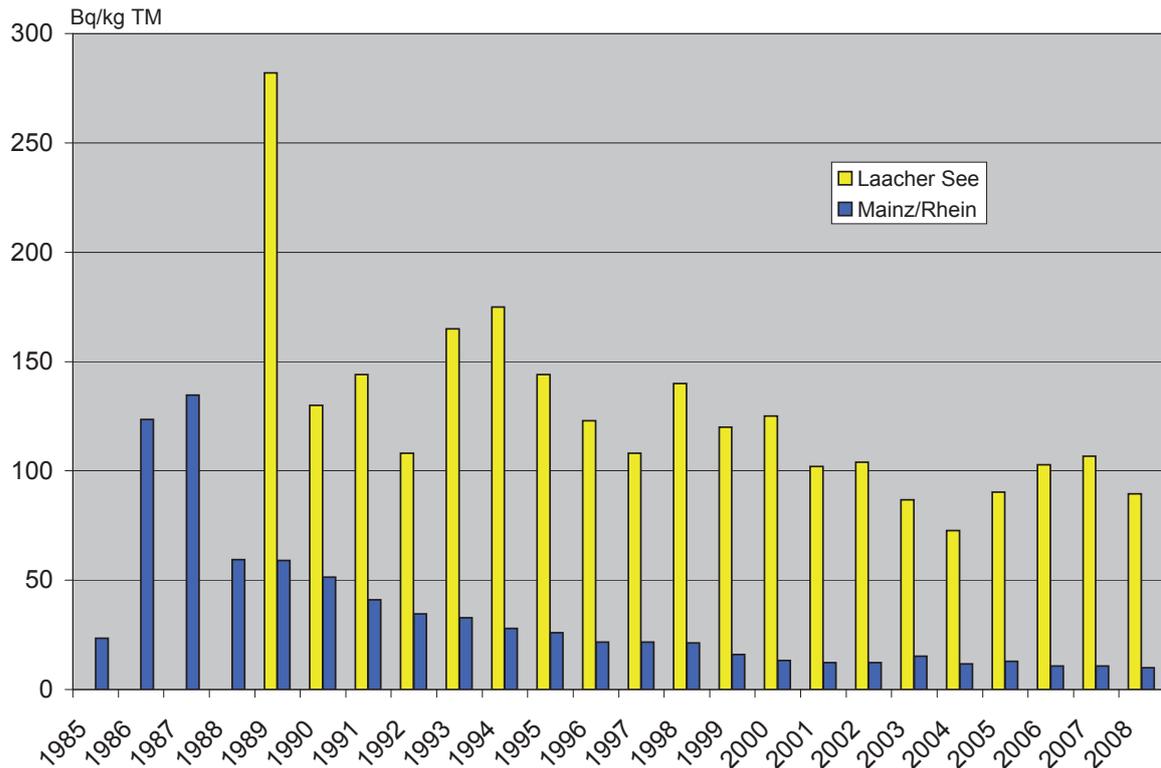


Abb. 3: Vergleich der Cäsium-137-Aktivitäten [Bq/kg TM] in Sedimentproben aus dem Laacher See und dem Rhein bei Mainz in den Jahren 1985 bis 2008

Sedimentproben aus dem Auslaufbauwerk des Kernkraftwerkes Mülheim-Kärlich zeigten Kobalt-60-Aktivitäten von 1,1 bis 3,1 Bq/kg TM. Diese Stelle wird seit 2008 nicht mehr beprobt, da hier kein Schlamm mehr anfällt. Auch in einer Sedimentprobe aus der Mosel bei Palzem wurden eine geringe Kobalt-60-Aktivität von 0,60 Bq/kg TM nachgewiesen. In jeweils einer Sedimentprobe aus der Mosel bei Palzem, dem Glan bei Odenbach und der Sauer bei Bollendorf bestimmten wir Iod-131-Aktivitäten von 15, 1,6 und 1,2 Bq/kg TM.

Weiterhin wurde immer noch Strontium-90 mit niedrigen Aktivitäten in Sedimentproben nachgewiesen, wie in Abb. 4 zu erkennen ist. Diese Aktivitäten stammten sicherlich noch von den oberirdischen Kernwaffenversuchen, die ihren Höhepunkt Anfang der 1960er Jahre hatten. Die Abbildung zeigt den Verlauf der letzten 8 Jahre, der sich relativ uneinheitlich darstellt. Eine im Laufe der Jahre deutlich abnehmende Tendenz ist nur vereinzelt erkennbar. Möglicherweise könnte ein Grundlevel der Strontiumaktivität in Sedimentproben erreicht sein. Die Strontium-90-Aktivitäten, die stets in den Filterschlammproben aus dem Wasserwerk Riveris-Talsperre bestimmt werden, sind aus dieser Darstellung herausgenommen, da ein direkter Vergleich wegen der unterschiedlichen Matrices nicht sinnvoll ist.

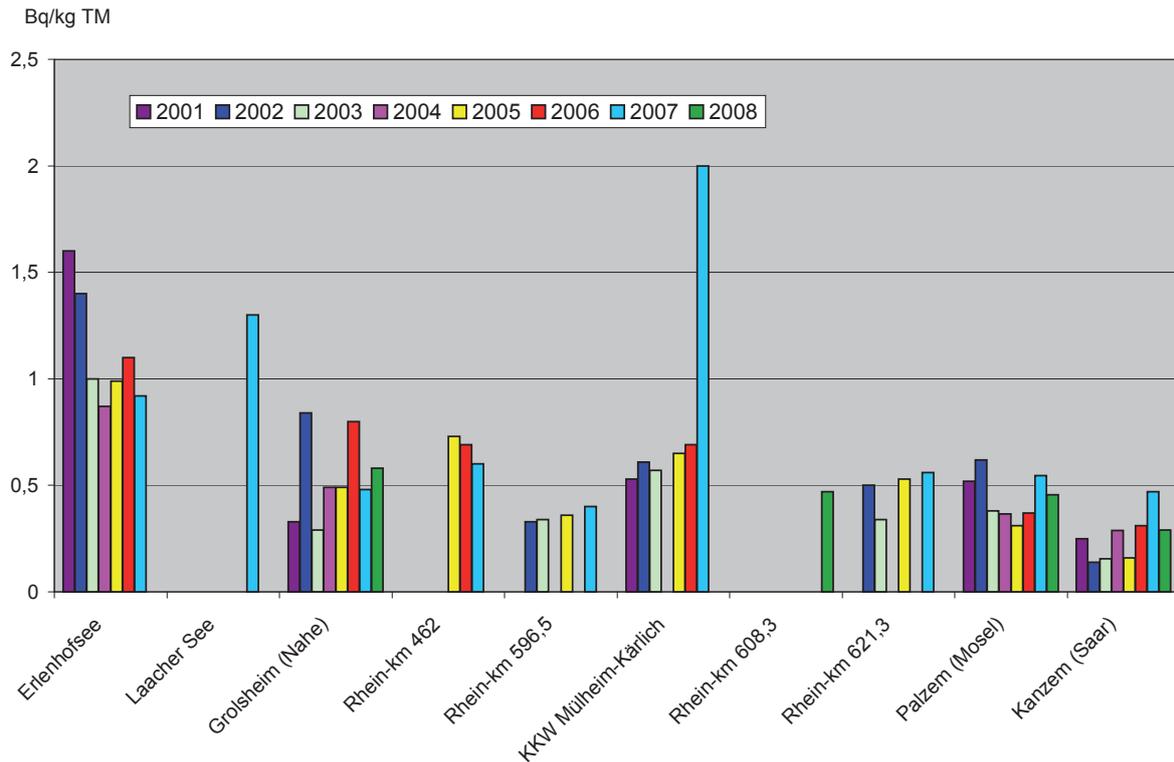


Abb. 4: Jahresmittelwerte 2001 bis 2008 der Strontium-90-Aktivitäten [Bq/kg TM] verschiedener Sedimentproben (Rhein-km 462 auch Schwebstoffproben)

4.3 Schwebstoffe

Auch in den Jahren 2006 bis 2008 wurden bei den gammaspektrometrischen Untersuchungen von Schwebstoffproben im großen und ganzen wieder die gleichen Radionuklide in etwa denselben Größenordnungen registriert wie bei der Untersuchung von Sedimentproben.

Beachtenswert ist erneut das Auftreten von Iod-131 in einzelnen Schwebstoffproben mit Aktivitäten bis 41 Bq/kg Trockenmasse. Dieses Radionuklid hat seinen Ursprung wahrscheinlich hauptsächlich in nuklearmedizinischen Anwendungen, wobei die diskontinuierliche Abgabe aus diesem Bereich verantwortlich für die große Schwankungsbreite der Messwerte ist.

4.4 Grundwasser und Rohwasser zur Trinkwassergewinnung

Aufgrund der großen Bedeutung für die Bevölkerung wurden auch in den Jahren 2006 bis 2008 diverse Proben von Grund- und Rohwässern (d.h. unbehandelte bzw. nicht aufbereitete Wässer, z.B. aus Brunnen oder Quellen), die zur Trinkwassergewinnung dienen, auf Radionuklide untersucht. Die Aktivitätskonzentrationen der künstlich erzeugten Gamma-Radionuklide lagen in allen Fällen unter der Nachweisgrenze des angewandten Bestimmungsverfahrens. Die bei gammaspektrometrischen Messungen geforderten Nachweisgrenzen (0,01 Bq/l gemäß IMIS bzw. 0,05 Bq/l gemäß REI jeweils bezogen auf Kobalt-60) wurden stets sicher erreicht. Auch konnten keine

Strontium-90-Aktivitäten oberhalb der geforderten Nachweisgrenze von 0,01 Bq/l nachgewiesen werden. Die geforderte Nachweisgrenze für die Tritiumaktivität von 10 Bq/l wurde jeweils sicher erreicht, die Aktivitäten fast aller Proben lagen unter diesem Wert. Nur in zwei Rohwasserproben wurden – wohl geogen bedingt – jeweils 11 Bq/l bestimmt.

4.5 Abwasser aus Kläranlagen

Mit Ausnahme von Iod-131 wurden in den untersuchten Abwasserproben keine künstlich erzeugten Gamma-Radionuklide registriert. Die in den Jahren 2006 bis 2008 ermittelten Iod-131-Aktivitätskonzentrationen reichten von 0,029 Bq/l bis 0,83 Bq/l. Dieser Schwankungsbereich deutet auf diskontinuierliche Einleitungen hin, die mit hoher Wahrscheinlichkeit aus dem Einsatzbereich der Nuklearmedizin stammten, da Iod-131 in der Schilddrüsenthherapie eingesetzt wird.

Mit einer Ausnahme (11 Bq/l) lagen die Tritium-Aktivitätskonzentrationen in den Abwasserproben unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 10 Bq/l.

4.6 Klärschlamm aus Kläranlagen

Auch in fast allen untersuchten Klärschlammproben wurden Iod-131-Aktivitäten in einem großen Wertebereich mit mehr als zwei Zehnerpotenzen Unterschied (Werte im Berichtszeitraum von 0,89 bis 360 Bq/kg TM) ermittelt. Zu diesem Iod-131-Eintrag in die Klärschlämme und dessen Schwankungsbereich, der hier noch deutlicher zu erkennen ist, kann man das Gleiche wie beim Abwasser aus Kläranlagen feststellen. In Abb. 5 sind die Ergebnisse der Jahre 2001 bis 2008 dargestellt.

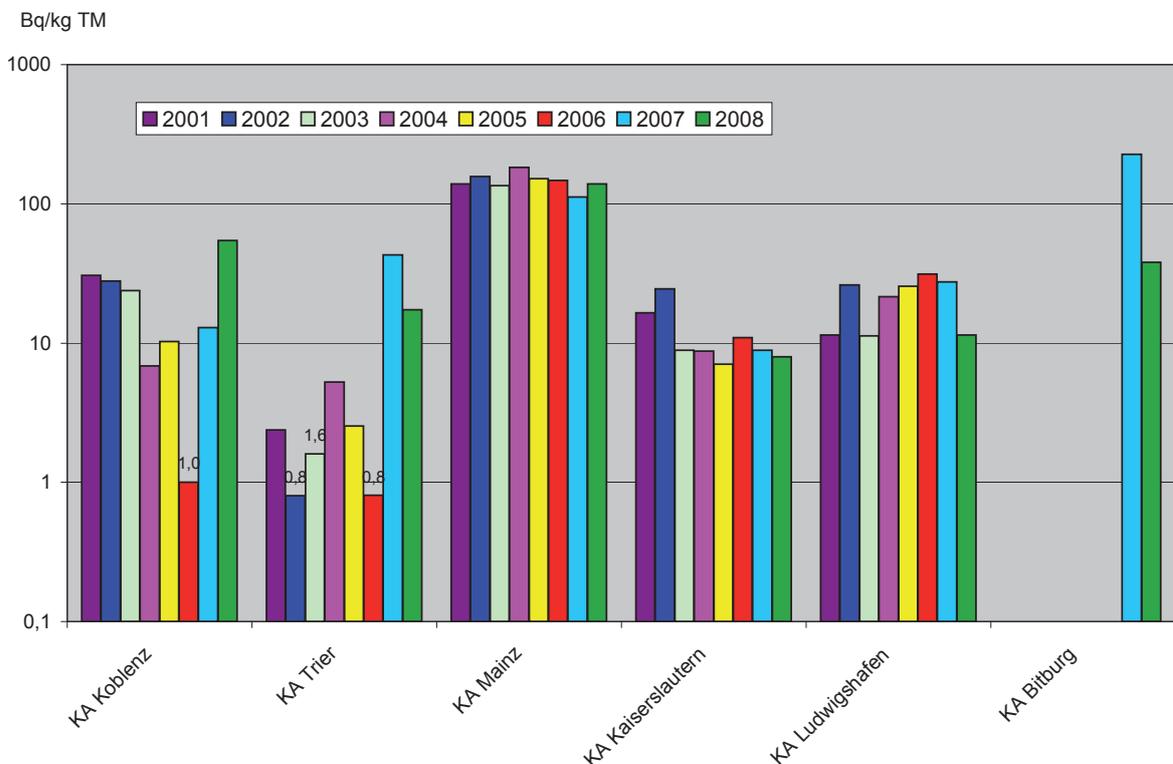


Abb. 5: Jahresmittelwerte 2001 bis 2008 der Iod-131-Aktivitäten [Bq/kg TM] verschiedener Klärschlammproben (Werte KA Koblenz 2006 sowie KA Trier 2002, 2003 und 2006 < NWG)

Weiterhin wurden Cäsium-137-Aktivitäten bestimmt, die auch deutlich zwischen 1,2 und 340 Bq/kg TM schwankten. In Abb. 6 sind die Jahresmittelwerte 2001 bis 2008 für die beprobten Kläranlagen dargestellt. Das Cäsium-137 wurde vermutlich durch das Abspülen immer noch vorhandener Ablagerungen aus der Zeit des Reaktorunfalls in Tschernobyl durch Regengüsse in die Kläranlagen eingebracht, worauf die unterschiedlichen Aktivitätsniveaus in den einzelnen Kläranlagen und die generell zu erkennende leichte Abnahme der Aktivitäten im Laufe der letzten Jahre deuten.

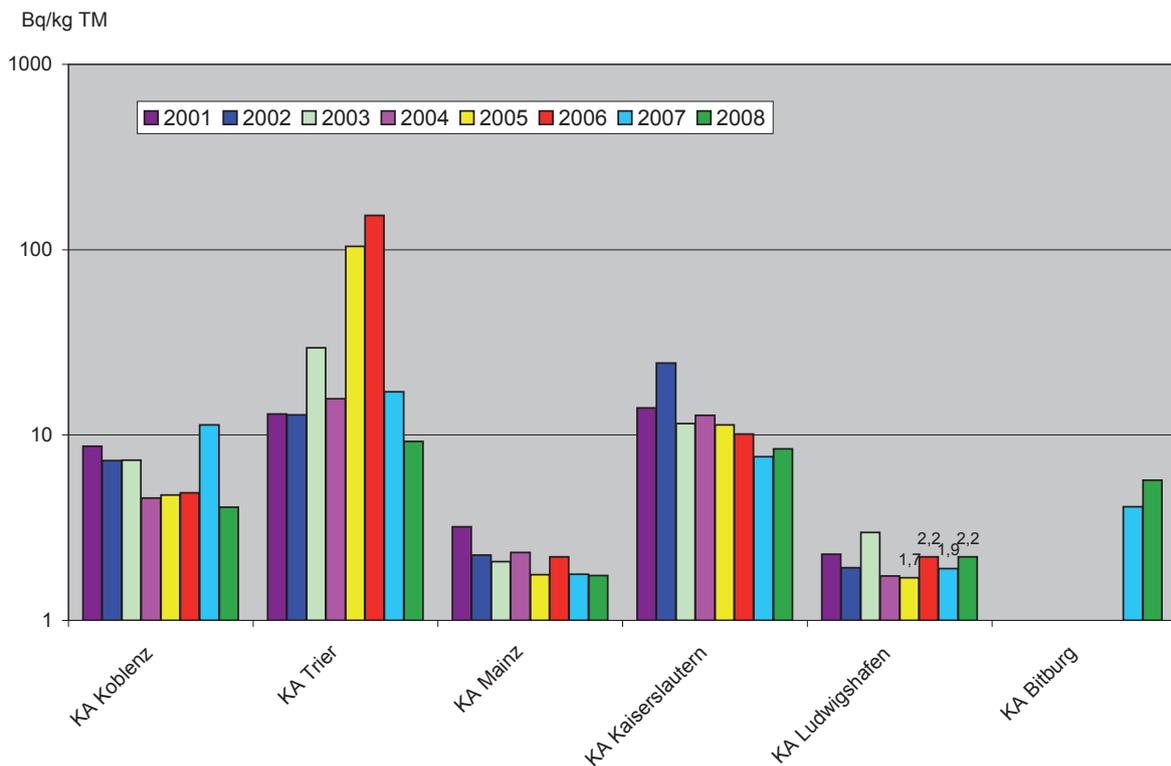


Abb. 6: Jahresmittelwerte 2001 bis 2008 der Cäsium-137-Aktivitäten [Bq/kg TM] verschiedener Klärschlammproben (Werte KA Ludwigshafen 2005 – 2008 < NWG)

Weitere künstlich erzeugte Radionuklide wurden lediglich in den Klärschlammproben aus der Kläranlage Trier in Form von Strontium-90-Aktivitäten zwischen 3,4 und 8,1 Bq/kg TM sowie aus der Kläranlage Kaiserslautern mit Werten von 1,4 bis 2,0 Bq/kg TM registriert. Als Ursache hierfür kommen die erwähnten früheren oberirdischen Kernwaffenversuche in Frage. Außerdem konnte in einigen Proben aus diesen beiden Kläranlagen Plutonium-239 in sehr geringen Aktivitäten (0,018 bis 0,073 Bq/kg TM) bestimmt werden. Diese Konzentrationen ließen sich aber nur mittels der sehr empfindlichen laserresonanten Ionisationsmassenspektrometrie (RIMS) an der Universität Mainz bestimmen.

Wir stellten die Beprobung der Kläranlage Trier gegen Jahresende 2008 aus den nachfolgenden Gründen ein und wechselten auf die Kläranlage Bitburg. Im Gegensatz zu den anderen Kläranlagen wird der Klärschlamm in Trier diskontinuierlich in offenen Trockenbeeten getrocknet, was bei der Entnahme zu inhomogenen, nicht immer aktuellen und unhygienischen Proben mit wechselnden Trockenmassen führen kann, wodurch wiederum Fehler bei den Gammaskpektrometriemessungen auftreten können. In der Kläranlage Bitburg führt dagegen die kontinuierliche Schlammentwässerung über eine Entwässerungszentrifuge zu einem homogenen, aktuellen und hygienisch akzeptablen Klärschlamm mit konstanter Trockenmasse. Der Wechsel der Entnahmestelle wurde durch zusätzliche Probennahmen in beiden Kläranlagen und Messungen fachlich begleitet, dokumentiert und abgesichert.

4.7 Sickerwasser aus Hausmülldeponien

Die in den Jahren 2006 bis 2008 untersuchten Sickerwasserproben aus Hausmülldeponien enthielten neben dem natürlichen Kalium-40 auch Cäsium-137- und Tritium-Aktivitätskonzentrationen, die über den sonst im Wasser ermittelten Werten lagen. Die Messungen ergaben Cäsium-137-Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,032 und 0,20 Bq/l. Bei den Tritium-Aktivitätskonzentrationen fielen wie in früheren Berichtszeiträumen Unterschiede zwischen den drei untersuchten Deponien auf, wie die aktuell berechneten Mittelwerte (Deponie Meudt 17,0 Bq/l; Deponie Framersheim 51,5 Bq/l; Deponie Mertesdorf 125 Bq/l) zeigte. Tritium wurde früher in Leuchtfarben für Zifferblätter und Zeiger von Uhren sowie Instrumentanzeigen eingesetzt, welche in unterschiedlichen Mengen auf die Hausmülldeponien gelangen können. Das Auswaschen des Deponiekörpers durch Regenwasser kann das Auftreten dieser Radionuklide im Sickerwasser verursachen. Aufgrund einer Änderung im IMIS-Messprogramm wurde die Entnahmestelle Deponie Mertesdorf Ende 2006 ersatzlos gestrichen.

4.8 Abwasser aus Verbrennungsanlagen

In Rheinland-Pfalz werden die Abwässer einer Hausmüll- und einer Rückstandsverbrennungsanlage auf Radionuklide untersucht. Da in der Hausmüllverbrennungsanlage Ludwigshafen keine Abwässer mehr anfielen, musste Mitte 2008 auf das Müllheizkraftwerk Pirmasens umgestellt werden. Die Tritiumaktivitätskonzentrationen, die in Ludwigshafen zwischen 17 und 500 Bq/l schwankten und in Pirmasens bei 200 und 110 Bq/l lagen, hatten wahrscheinlich die gleiche Herkunft wie im Sickerwasser aus Hausmülldeponien. Durchaus bemerkenswert waren die Iod-131-Aktivitäten in Abwasser der Hausmüllverbrennungsanlage Ludwigshafen, die von 10 bis 82 Bq/l mit einem Mittelwert von 35 Bq/l reichten und sicherlich aus medizinischen Anwendungen stammten. In der Rückstandsverbrennungsanlage lagen mit einer Ausnahme (Tritium mit 160 Bq/l) alle Werte unter bzw. im Bereich der jeweiligen Nachweisgrenzen.

5 BERECHNUNG UND BEWERTUNG DER STRAHLENDOSIS

Die Aktivität der einzelnen Radionuklide ist unmittelbar kein Maß zur Abschätzung der Wirkung der ionisierenden Strahlung auf den Menschen. Zur Berechnung der Strahlenexposition aus der Aktivität müssen die physikalischen Eigenschaften und das chemische Verhalten des betrachteten Radionuklids sowie die Lebensgewohnheiten des Menschen einbezogen werden. Um solche Berechnungen vergleichbar zu machen, sind in der Strahlenschutzverordnung [7] Annahmen zur Ermittlung der Strahlenexposition für die einzelnen Belastungspfade sowie für eine Strahlenschutzbetrachtung pessimistische Lebensgewohnheiten zusammengestellt. Unter Einbeziehen der Dosiskoeffizienten [9] kann die effektive Dosis bzw. eine Organdosis für eine Referenzperson aus der Aktivität einzelner Radionuklide berechnet werden.

In Anlage VII der Strahlenschutzverordnung [7] sind folgende Expositionspfade bei Ableitung von radioaktiven Stoffen mit Wasser aufgelistet:

Exposition durch Aufenthalt auf Sediment,

Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Ingestion) auf dem Weg

- Trinkwasser
- Wasser – Fisch
- Viehtränke – Kuh – Milch
- Viehtränke – Tier – Fleisch
- Beregnung – Futterpflanze – Kuh – Milch
- Beregnung – Futterpflanze – Tier – Fleisch
- Beregnung – Pflanze
- Muttermilch

Bei den folgenden Betrachtungen wurden beispielhaft die direkte Aufnahme von Trinkwasser („Trinkwasserpfad“) für die interne Strahlenexposition und der Aufenthalt auf Sediment („Spülfeldpfad“) für die externe Strahlenexposition ausgewählt, da diese Pfade aus wasserwirtschaftlicher Sicht in erster Linie relevant sind [10]. In den Tabellen 1 und 2 sind die im Berichtszeitraum maximal gemessenen Aktivitäten ausgewählter künstlicher Radionuklide und die daraus berechneten potentiellen Strahlenexpositionen jeweils den Grenzwerten gegenübergestellt. Gemäß § 47 Abs. 1 der Strahlenschutzverordnung [7] gelten bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser bestimmte Grenzwerte für die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung. So beträgt der Grenzwert für die effektive Dosis 0,3 mSv (Millisievert) im Kalenderjahr. Die Auswahl der Radionuklide erfolgte zum einen nach der Häufigkeit ihres Auftretens in den untersuchten Proben und zum anderen aufgrund ihrer Radiotoxizität. Die Maximalwerte wurden gewählt, um auch in diesem Fall eine Betrachtung der Strahlenexposition unter den ungünstigsten Annahmen zu erhalten. Die Extremwerte für Cäsium-137

im Sediment des Laacher Sees und für Kobalt-60 im Schlamm des KKW Mülheim-Kärlich wurden nicht berücksichtigt, da man diese Sedimente sicherlich nicht für Spülfelder verwenden würde und somit dieser Expositionspfad unrealistisch wäre.

Generell muss gesagt werden, dass hier ein Berechnungsverfahren für die Strahlenexposition angewendet wird, das eigentlich ein Gleichgewichtsmodell ist und nicht für einmalige bzw. kurzzeitige Expositionen gilt. So ergibt sich die berechnete potentielle Strahlenexposition auf dem „Trinkwasserpfad“ nur unter der Annahme, dass die entsprechenden Aktivitätskonzentrationen im Trinkwasser das gesamte Jahr über vorliegen. Beim „Spülfeldpfad“ wird eine über das gesamte Spülfeld gemittelte Gleichgewichtskonzentration sowie eine „unendlich ausgedehnte Fläche“ vorausgesetzt, wobei eine Sättigungsschichtdicke angenommen wird. Die Masse des Sediments muss also für das gesamte Spülfeld ausreichend sein.

5.1 Strahlenexposition auf dem „Trinkwasserpfad“

Zur Berechnung der internen Strahlenexposition auf dem „Trinkwasserpfad“ aus der Aktivitätskonzentration von in Wasser gelösten Radionukliden wird folgende Gleichung verwendet:

$$H_{TW,r} = a_r^W \cdot U^W \cdot g_{TW,r} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v) \quad [10]$$

Dabei sind:

$H_{TW,r}$: Dosisbeitrag von Nuklid r zur internen Strahlenexposition auf dem „Trinkwasserpfad“ (Sv/a)

a_r^W : Aktivitätskonzentration von Nuklid r im Wasser (Bq/l)

U^W : Jährlicher Wasserkonsum von Erwachsenen (Annahme: 700 l/a [7])

$g_{TW,r}$: Dosiskoeffizient von Nuklid r für Ingestion (Sv/Bq) [9]

λ_r : Zerfallskonstante von Nuklid r (d^{-1}) $\lambda_r = \ln 2 / T_{1/2,r}$

$T_{1/2,r}$: Halbwertszeit von Nuklid r (d) [11]

t_v : Zeitspanne zwischen Entnahme des Flusswassers und Einspeisung in das Trinkwassernetz (d) (Annahme: 1 d)

Tab. 1: Expositionspfad Trinkwasser – Zusammenhang zwischen Aktivitätskonzentration und Strahlenexposition

Nuklid	Grenzwerte der Strahlenexposition nach § 47 (1) Strahlenschutzverordnung	Maximal gemessene Aktivität	Berechnete maximale potentielle Strahlenexposition	
			[mSv/a]	[%]
Tritium (H-3)	0,3 (effektive Dosis)	50	0,00063	0,21
Kobalt-58	0,3 (effektive Dosis)	< 0,56	< 0,00029	< 0,10
Kobalt-60	0,3 (effektive Dosis)	< 0,65	< 0,0015	< 0,50
Strontium-90	0,3 (effektive Dosis)	0,011	0,00022	0,07
	1,8 (Knochenendosis)		0,0032	0,18
Iod-131	0,3 (effektive Dosis)	0,059	0,00083	0,28
	0,9 (Schilddrüsendosis)		0,016	1,8
Cäsium-134	0,3 (effektive Dosis)	< 0,43	< 0,0057	< 1,9
Cäsium-137	0,3 (effektive Dosis)	0,034	0,00031	0,10

Der Berechnung zugrunde liegende Annahmen:

- Trinkwasseraufnahme: 700 Liter im Jahr
- Zeitspanne zwischen Wasserentnahme und Einspeisung in das Trinkwassernetz: 1 Tag
- Aktivitätskonzentration im Gewässer während des gesamten Jahres

Anhand der im Berichtszeitraum registrierten Aktivitätskonzentrationen wäre es aus radiologischer Sicht theoretisch möglich gewesen, die Oberflächenwässer direkt in ein Trinkwassernetz einzuspeisen. Alle Messwerte ergaben potentielle Strahlenexpositionen, die deutlich unter den Grenzwerten gemäß § 47 (1) der Strahlenschutzverordnung [7] lagen, wie aus Tab. 1 zu entnehmen ist. Als maximale Strahlenexposition durch künstliche Radionuklide im Überwachungszeitraum (Iod-131, Schilddrüsendosis) errechneten sich 1,8% des Grenzwertes der Strahlenschutzverordnung. Darüber hinaus würden bei einer richtigen Wasseraufbereitung auch noch zusätzliche Dekontaminationswirkungen erzielt werden.

Der Grenzwert für die effektive Dosis wurde auch sowohl von den Jahresmittelwerten als auch den maximalen Einzelwerten der Tritium-Aktivitäten deutlich unterschritten. Für die Beurteilung der Belastung durch Tritium, die z.B. in der Mosel nachgewiesen wurde, kann man auch direkt den Grenzwert für Tritium im Trinkwasser zu Rate ziehen, der gemäß der Trinkwasserverordnung [12] bei 100 Bq/l liegt. Bei einer maximal gemessenen Tritium-Aktivität von 50 Bq/l ist demnach eine Gefährdung der Bevölkerung an der Mosel nicht zu erwarten.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann weiterhin davon ausgegangen werden, dass eine Gefährdung der Bevölkerung durch die Ingestion von künstlich erzeugten Radionukliden beim Gebrauch der untersuchten Grund- und Rohwässer als Trinkwasser nicht aufgetreten war.

5.2 Strahlenexposition auf dem „Spülfeldpfad“

Zur Berechnung der externen Strahlenexposition auf dem „Spülfeldpfad“ aus der Aktivität von Radionukliden in Sediment, das als landgelagertes Baggergut verwendet wird und auf dem sich eine Person aufhält, wird folgende Gleichung verwendet:

$$H_{sp,r} = a_r^{Sed} \cdot d \cdot t_A \cdot g_{b,r} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_{sp}) \quad [10]$$

Dabei sind:

$H_{sp,r}$: Dosisbeitrag von Nuklid r zur externen Strahlenexposition auf dem „Spülfeldpfad“ (Sv/a)

a_r^{Sed} : Aktivität von Nuklid r im Sediment zum Zeitpunkt der Sedimententnahme (Bq/kg TM)

d: Dicke der aufgetragenen Sedimentschicht (Annahme: 60 kg/m² [10])

t_A : Aufenthaltsdauer auf dem Sediment/Spülfeld (Annahme: 3,6×10⁶ s/a [7])

$g_{b,r}$: Dosisleistungskoeffizient von Nuklid r für Gamma-Bodenstrahlung ($\frac{Sv}{s} / \frac{Bq}{m^2}$) [9]

λ_r : Zerfallskonstante von Nuklid r (d⁻¹) $\lambda_r = \ln 2 / T_{1/2,r}$

$T_{1/2,r}$: Halbwertszeit von Nuklid r (d) [11]

t_{sp} : Zeitspanne zwischen Sedimententnahme und Begehrbarkeit des Spülfeldes (d) (Annahme: 1 d)

Tab. 2: Expositionspfad Aufenthalt auf Ufersediment („Spülfeldpfad“) – Zusammenhang zwischen Aktivität und Strahlenexposition

Nuklid	Grenzwerte der Strahlenexposition nach § 47 (1) Strahlenschutzverordnung	Maximal gemessene Aktivität	Berechnete maximale potentielle Strahlenexposition	
			[mSv/a]	[%]
Tritium (H-3)	0,3 (effektive Dosis)	-	keine Exposition durch Bodenstrahlung	
Kobalt-58	0,3 (effektive Dosis)	< 1,5	< 0,00029	< 0,10
Kobalt-60	0,3 (effektive Dosis)	0,60	0,00029	0,10
Strontium-90	0,3 (effektive Dosis)	2,0	keine Exposition durch Bodenstrahlung	
	1,8 (Knochendosis)			
Iod-131	0,3 (effektive Dosis)	15	0,0011	0,37
	0,9 (Schilddrüsendosis)		0,0012	0,13
Cäsium-134	0,3 (effektive Dosis)	< 1,1	< 0,00036	< 0,12
Cäsium-137	0,3 (effektive Dosis)	30	0,0034	1,1

Der Berechnung zugrunde liegende Annahmen:

- Dicke der aufgetragenen Sedimentschicht 60 kg/m²

- Aufenthalt auf Sediment/Spülfeld: 1000 Stunden/Jahr
- Zeitspanne zwischen Sedimententnahme und Begehbarkeit des Spülfeldes: 1 Tag
- Gleichgewichtskonzentration gemittelt über das gesamte Spülfeld und Sättigungsschichtdicke angenommen

Wie aus der Literatur [z.B. 10 und 4] bekannt ist, stellt der „Spülfeldpfad“ einen besonders sensitiven Expositions-pfad dar. Der Tab. 2 ist zu entnehmen, dass die berechneten potentiellen Strahlenexpositionen gegenüber dem „Trinkwasserpfad“ in der Regel etwas höher sind, aber noch deutlich unter den Grenzwerten gemäß § 47 (1) der Strahlenschutzverordnung [7] liegen. In den letzten Jahren betrug die berechnete maximale Strahlenexposition durch künstliche Radionuklide (Cäsium-137, effektive Dosis) 1,1 % des Grenzwertes der Strahlenschutzverordnung. Wie aber bereits ausgeführt, handelt es sich aber auch hier um eine potentielle Strahlenexposition, die nur unter den oben genannten Voraussetzungen erreicht werden könnte.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstlich erzeugte radioaktive Stoffe im Oberflächenwasser und in Sedimenten war in den Jahren 2006 bis 2008 aufgrund der dargestellten Daten wie in den Jahren zuvor vernachlässigbar klein gegenüber der natürlichen Strahlenexposition.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern in den Jahren 1986 bis 2000, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Bericht 205/01, August 2001
- [2] Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern in den Jahren 2001 und 2002, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Bericht 211/03, Oktober 2003
- [3] Radioaktivität in rheinland-pfälzischen Gewässern in den Jahren 2003 bis 2005, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Bericht 15/2006, Juli 2006
- [4] Wisser S, Hartkopf J (2006): Natural and Artificial Radioactivity in the Rhine and Its Tributaries, In: The Handbook of Environmental Chemistry (Editor-in-Chief: Otto Hutzinger), Vol. 5 Part L The Rhine (Volume Editor: Thomas P. Knepper), Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [5] Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19.12.1986 (BGBl. I S. 2610)
- [6] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27.09.1995 (BAnz. 200a/24.10.1995)
- [7] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20.07.2001 (BGBl. I S. 1714)
- [8] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 29 vom 19.08.1993, S. 501
- [9] Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition. Vom 23. Juli 2001 gemäß Strahlenschutzverordnung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, RSII1-11413/28, Bundesanzeiger Verlags-ges.mbH., Köln
- [10] Mundschenk H, Krause WJ, Dersch G, Wengler P (1994) Überwachung der Bundeswasserstraßen auf radioaktive Stoffe im Normal- und Ereignisfall – Konzept, Methoden und Ergebnisse, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-0783, Koblenz
- [11] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Herausgeber): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen, Lose-Blatt-Sammlung, Urban&Fischer, München Jena, Stand 01.03.2006
- [12] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV2001) vom 21. Mai 2001 (BGBl. I 959)

ANLAGEN

Anlage A-1: IMIS-ROUTINEMESSPROGRAMM (Strahlenschutzvorsorgegesetz)
(Stand 31.12.2008)

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellenummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
V-1.01	Ransbach-Baumbach (Erlenhofsee) 2712700350	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr 4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-1.02	Glees (Laacher See) 2714715750	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-1.03	Bollendorf (Sauer-km 80,0) 2627710250	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr 4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-1.04	Grolsheim (Nahe-km 112,6) 2549523250	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-1.05	Odenbach (Glan-km 71,0) 2546700050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-1.06	Contwig (Schwarzbach-km 39,5) 2642523250	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-1.07	Ulmen (Jungferweiher) 2679717550	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.08	Bitburg-Erdorf (Kyll-km 39,3) 2659718050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.09	Wiersdorf (Prüm-km 32,1) 2630718050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.10	Birgel (Kyll-km 101,2) 2659716050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.11	Mayschoß-Laach (Ahr-km 56) 2719716050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.12	Rehe (Krombachtalsperre) 2584500650	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.13	Neumagen-Dhron (Dhron-km 32) 2677782050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.14	Neuwied-Niederbieber (Wied-km 99) – 2713713050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.15	Weißenthurm (Nette-km 58) 2713714050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-1.16	Bingen-Dietersheim (Nahe-km 121,5) – <i>statt V-1.04</i> 2540711050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
V-2.04	Grolsheim (Nahe-km 112,6) 2549700150	Schwebstoffe	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-2.05	Odenbach (Glan-km 71,0) 2546703350	Schwebstoffe	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-2.06	Contwig (Schwarzbach-km 39,5) 2642700150	Schwebstoffe	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-2.08	Bingen-Dietersheim (Nahe-km 121,5) – <i>statt V-2.04</i> 2540712050	Schwebstoffe	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellennummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
V-3.01	Ransbach-Baumbach (Erlenhofsee) 2712720750	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-3.02	Glees (Laacher See) 2714717950	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-3.03	Bollendorf (Sauer-km 80,0) 2627730650	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-3.04	Grolsheim (Nahe-km 112,6) 2549701250	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-3.05	Odenbach (Glan-km 71,0) 2546702250	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-3.06	Contwig (Schwarzbach-km 39,5) 2642701250	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-3.07	WW Idar-Oberstein (Steinbachtalsperre) 2541710050	Filterschlamm	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
V-3.08	Bingen-Dietersheim (Nahe-km 121,5) – <i>statt V-3.04</i> 2540713050	Sediment	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-4.01	Wasserwerk Mehren (Brunnen 2) 2681140750	Rohwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-4.02	WW Idar-Oberstein (Steinbachtalsperre) 2541700250	Rohwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-4.03	WW Clausen (Quelle Schwarzbachtal) 2642280250	Rohwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-4.04	WW Landau/Pfalz (Alter Hochbehälter) 2377700750	Rohwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
V-5.01	Koblenz-Oberwerth (Brunnen 1) 2591700550	Grundwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-5.03	Rennerod (Quelle Hahneck) 2587260050	Grundwasser	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
V-5.06	Gerolstein (Quelle Müllenborn) 2664700850	Grundwasser	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
V-5.14	Kaiserslautern (Quelle Espensteig) 2546735050	Grundwasser	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellenummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
V-6.01	Koblenz (Kläranlage) 2711901650	Abwasser (Gesamtauslauf)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-6.02	Trier (Kläranlage) 2655901350	Abwasser (Gesamtauslauf)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-6.03	Mainz (Kläranlage) 2513901250	Abwasser (Gesamtauslauf)	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90	4 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-6.04	Kaiserslautern (Kläranlage) 2546901750	Abwasser (Gesamtauslauf)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-6.05	Ludwigshafen (Kläranlage) 2391902150	Abwasser (Gesamtauslauf)	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90	4 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-6.06	Bitburg (Kläranlage) – <i>statt V-6.02</i> 2628731550	Abwasser (Gesamtauslauf)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-7.01	Koblenz (Kläranlage) 2711700050	Klärschlamm (Schlamm- entwässerung)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-7.02	Trier (Kläranlage) 2655701850	Klärschlamm (Trockenbeet)	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90	4 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-7.03	Mainz (Kläranlage) 2513701750	Klärschlamm (Schlamm- entwässerung)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-7.04	Kaiserslautern (Kläranlage) 2546701150	Klärschlamm (Schlamm-trockner)	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90	4 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-7.05	Ludwigshafen (Kläranlage) 2391700450	Klärschlamm (Schlammeindicker)	γ -Spektrometrie	4 x pro Jahr
V-7.06	Bitburg (Kläranlage) – <i>statt V-7.02</i> 2628732050	Klärschlamm (Schlamm-trockner)	γ -Spektrometrie α -Spektrometrie Strontium-90	4 x pro Jahr 2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-8.01	Meudt (Deponie) 2589700050	Sickerwasser (Sammelbecken)	γ -Spektrometrie Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-8.02	Mertesdorf (Deponie) 2656750050	Sickerwasser (Sammelbecken)	γ -Spektrometrie Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-8.03	Framersheim (Deponie) 2523700050	Sickerwasser (Sammelbecken)	γ -Spektrometrie Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-9.01	Ludwigshafen (Hausmüll- verbrennungsanlage) 2391701550	Abwasser aus Rauchgaswäsche	γ -Spektrometrie Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-9.02	Ludwigshafen (Rückstands- verbrennungsanlage) 2391702650	Abwasser aus Rauchgaswäsche	γ -Spektrometrie Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
V-9.03	Pirmasens (Müllheizkraftwerk) – <i>statt V-9.01</i> 2642712550	Abwasser aus Rauchgaswäsche	γ -Spektrometrie Tritium	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr

Grau gedruckte Messstellen werden nicht mehr beprobt (Stand 31.12.2008 – stattdessen Alternativmessstellen V-1.16, V-2.08, V-3.08, V-6.06, V-7.06, V-9.03)

**Anlage A-2: UMGEBUNGSÜBERWACHUNGSPROGRAMM
(KKW PHILIPPSBURG)
(Stand 31.12.2008)**

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellenummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
S1 (P-MP1)	Speyer (Hafen, Rhein-km 401) 2377707350	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
W06 (P-MP2)	Wasserwerk Speyer (Tiefbrunnen 1) 2377731350	Rohwasser	γ -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	4 x pro Jahr 2 x pro Jahr 4 x pro Jahr
P-MP3	Mechttersheim (Rhein-km 389,4) 2377705150	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
P-MP4	Speyer (Rhein-km 401) 2377706250	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
P-MP5	Berghausen (Altrhein) 2377711050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
P-MP6	Speyer (Mündung Speyerbach) 2377713150	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
P-MP7	Mechttersheim (Baggersee) 2377710950	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
P-MP8	Wasserwerk Speyer (Mischwasser) 2377730250	Rohwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr (s. P-MP11, MP-12, MP14)
P-MP10	Berghausen (Quelle) 2377720050	Grundwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
P-MP11	Wasserwerk Dudenhofen (Tiefbrunnen 3) 2377721050	Rohwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr (im Wechsel mit P-MP8)
P-MP12	Wasserwerk Speyer (Flachbrunnen I) 2377702950	Rohwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr (im Wechsel mit P-MP8)
P-MP14	Wasserwerk Speyer-Nord (Mischwasser) 2379712050	Rohwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr (im Wechsel mit P-MP8)

Anlage A-3: UMGEBUNGSÜBERWACHUNGSPROGRAMM (KKW BIBLIS)
(Stand 31.12.2008)

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellennummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
B-W1.1	Eich (Eicher See) 2393712050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
B-W12.4	Hamm (Breitfleckensee) 2393712550	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie	1 x pro Jahr
B-S2.1a	Hamm (Rhein-km 462) 2393713550	Schwebstoffe	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
B-S2.1b	Hafen Gernsheim (Rhein-km 462) 2393713050	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
B-S6.2	Mündung Lampertheimer Altrhein (Rhein-km 440) 2391752050	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
B-S12.1	Eich (Altrhein) 2395711150	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
B-W11.1	Worms-Ibersheim (Bereg- nungsbrunnen Nr. 46) 2395720250	Grundwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
B-W9.3	Wasserwerk Osthofen (Brunnen 5) 2393732750	Rohwasser	γ -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr* 2 x pro Jahr* 2 x pro Jahr*
B-W11.3	WW Guntersblum (Brunnen 38) 2397731250	Rohwasser	γ -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	2 x pro Jahr* 2 x pro Jahr* 2 x pro Jahr*

* 6 Monatsstichproben werden zu einer Halbjahresprobe zusammengemischt.
Die grau gedruckte Messstelle B-S2.1a wird nicht mehr beprobt (Stand 31.12.2008)

**Anlage A-4: UMGEBUNGSÜBERWACHUNGSPROGRAMM
(KKW MÜLHEIM-KÄRLICH)
(Stand 31.12.2008)**

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellenummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
MK-W1.1	KKW Mülheim-Kärlich (Einlaufwerk, Pumpen 1+2) 2713708450	Zulaufwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
MK-W1.2	KKW Mülheim-Kärlich (Auslaufwerk) 2713709550	Auslaufwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
MK-S2.1	Kesselheim (Rhein-km 596,5) 2713704050	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
MK-S2.2	KKW Mülheim-Kärlich (Auslaufwerk) 2713750650	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
MK-S2.5	Weißenthurm (Wasserbau- hafen, Rhein-km 608,3) 2713706250	Sediment	γ -Spektrometrie	2 x pro Jahr
MK-W3.1	Kesselheim (Wasserwerk Rheinhöhen Mischwasser) 2713730250	Rohwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr

(Überwachungsprogramm bei Restbetrieb und Abbau der Anlage KKW Mülheim-Kärlich)
Die grau gedruckte Messstelle MK-S2.2 wird nicht mehr beprobt (Stand 31.12.2008) – dafür
Alternativmessstelle MK-S2.5

Anlage A-5: UMGEBUNGSÜBERWACHUNGSPROGRAMM (KKW CATTENOM)
(Stand 31.12.2008)

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellenummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
C-1.1	Palzem (Mosel-km 230) 2619595951	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	12 x pro Jahr 1 x pro Jahr 12 x pro Jahr
C-1.3	Kanzem (Saar-km 6,6) 2649525050	Oberflächenwasser	γ -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	12 x pro Jahr 1 x pro Jahr 12 x pro Jahr
C-1.2	Palzem (Mosel-km 230) 2619715550	Sediment	γ -Spektrometrie Strontium-90	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
C-1.4	Kanzem (Saar-km 6,6) 2649715350	Sediment	γ -Spektrometrie Strontium-90	2 x pro Jahr 2 x pro Jahr
C-2.4	Wasserwerk Riveris- Talsperre - 2656730650	Filterschlamm	γ -Spektrometrie Strontium-90	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
C-2.1	Palzem (GWMS 4145) 2619100750	Grundwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
C-2.5	Nittel (GWMS 4147 I) 2619120050	Grundwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
C-2.2	Oberbillig (GWMS 4148) 2619130250	Grundwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
C-2.6	Wasserliesch (GWMS 4149) 2634110050	Grundwasser	γ -Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
C-2.3	Wasserwerk Riveris- Talsperre 2656711350	Rohwasser	γ -Spektrometrie Strontium-90 Tritium	12 x pro Jahr 2 x pro Jahr 12 x pro Jahr

Die grau gedruckte Messstellen C-2.1 und C-2.2 werden nicht mehr beprobt (Stand 31.12.2008) – dafür Alternativmessstellen C-2.5 und C-2.6

Anlage A-6: ALLGEMEINES ÜBERWACHUNGSPROGRAMM
(Auszug - Stand 31.12.2008)

Messpunkt	Probenentnahmeort Messstellenummer	Matrix	Parameter	Messfrequenz
A-1.02	UA Ellweiler (Steinaubach, vor) 2541575450	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
A-1.03	UA Ellweiler (Steinaubach, nach) 2541576550	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	4 x pro Jahr 4 x pro Jahr
A-1.05	Steinebach/Wied (Dreifelder Weiher) 2716510450	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
A-1.06	Stahlhofen (Wiesensee) 2587540450	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
A-1.07	Ahrweiler-Walporzheim (Ahr) 2719717050	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
A-1.08	Gillensfeld (Pulvermaar) 2681712050	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
A-1.09	Fuchshofen (Ahr) 2718731050	Oberflächenwasser	γ-Spektrometrie Tritium	1 x pro Jahr 1 x pro Jahr
A-3.01	Mainz (Rhein-km 496) 2511710050	Sediment	γ-Spektrometrie	12 x pro Jahr
A-3.03	Germersheim (Neuer Hafen - Rhein-km 385,5) 2375718050	Sediment	γ-Spektrometrie	2 x pro Jahr
A-3.04	Germersheim (Alter Hafen - Rhein-km 384,4) 2377738050	Sediment	γ-Spektrometrie	2 x pro Jahr

Die grau gedruckte Messstelle A-3.03 wird nicht mehr beprobt (Stand 31.12.2008) – dafür Alternativmessstelle A-3.04

Anlagen B: Messergebnisse (01.01.2006 bis 31.12.2008)

- Messprogramm 13 – IMIS (Strahlenschutzvorsorge-Routineprogramm)
- Messprogramm 2 – KKW Philippsburg (Umgebungsüberwachung)
- Messprogramm 3 – KKW Biblis (Umgebungsüberwachung)
- Messprogramm 4 – KKW Mülheim-Kärlich (Umgebungsüberwachung)
- Messprogramm 5 – KKW Cattenom (Umgebungsüberwachung)
- Messprogramm 11 – Allgemeines Überwachungsprogramm

Erläuterungen: Bq/l = Becquerel/Liter
Bq/kg TM = Becquerel/Kilogramm Trockenmasse
< = kleiner als NWG (Nachweisgrenze)
nb = nicht bestimmt
KA = Kläranlage
WW = Wasserwerk
GWMS = Grundwassermessstelle

Hinweise: Durch die Umstellung der Labordatenbank ergibt sich in den Ergebnislisten für die Jahre 2006 und 2007 die nicht wissenschaftliche und für das Jahr 2008 die wissenschaftliche Schreibweise der Messwerte.

Die Bestimmung von Plutonium-Isotopen wurde z.T. am Institut für Kernchemie der Universität Mainz mittels Laserresonanter Ionisationsmassenspektrometrie (RIMS) durchgeführt; erkennbar sind diese Werte an dem Zusatz (RIMS) im Parameternamen.